

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт з
“Радіоелектроніки”**

(для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання: бакалаврів
за напрямом 6.080101 - “Геодезія, картографія та землеустрій”)

ХАРКІВ – ХНАМГ – 2009

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу радіоелектроніки (для студентів 2 курсу денної і заочної форми навчання бакалаврів за напрямом: 6.080101 - “Геодезія, картографія та землеустрій”). - укл. А.В. Безуглий, А.С.Сисоєв, О.М.Петченко, Є.Б.Сидоренко, Харк. нац. акад. міськ. госп-ва - Х: ХНАМГ, 2009. – 41с.

Укладачі: А.В.Безуглий.,
А.С.Сисоєв,
О.М.Петченко,
Є.Б.Сидоренко

Рецензент: доц. Є.І. Назаренко

Рекомендовано кафедрою фізики,
протокол № 11 від 23.06.09 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Передмова.....	4
Лабораторна робота №1. Дослідження роботи електровакуумного діода.....	5
Лабораторна робота №2. Дослідження роботи триелектродної електронної лампи	11
Лабораторна робота №3. Дослідження залежності провідності напівпровідників від температури.....	16
Лабораторна робота № 4. Вивчення провідності напівпровідниково-го діода та його роботи в схемах випрямлення змінного струму	22
Лабораторна робота №5. Дослідження явища резонансу в електричному коливальному контурі	28
Лабораторна робота №6. Вивчення роботи підсилювача на транзисторах	34

ПЕРЕДМОВА

В геодезичній практиці все ширше й ширше застосовуються електронні методи вимірювань. Це потребує від студентів – майбутніх геодезистів - не тільки певних знань фізичних принципів функціонування електронних приладів, але й певних навичок в роботі з ними.

Лабораторний практикум з радіоелектроніки у відповідності з вимогами галузевого стандарту ставить на меті, щоб студенті спеціальності "Геоінформаційні системи і технології" отримували певні навички в складенні найпростіших електронних схем та проведенні нескладних вимірювань електричних величин які характеризують роботу електронних пристроїв.

Лабораторний практикум також дає можливість познайомитися з роботою електронних приладів, які застосовуються в геодезичних пристроях, познайомитись з загальним устроєм джерел електроживлення.

Важливого значення в практикумі надано вивченню роботи електровакуумних приладів, бо знання основних принципів, закладених в основу їх функціонування дозволяє студентам краще опанувати фізичними процесами на яких базується робота напівпровідникових приладів і власне вивченню роботи напівпровідникових приладів. Вивчається робота електричного коливального контура, важливого елемента, в якому власне і виникають електромагнітні коливання. Вивчається робота підсилювача низкої частоти на транзисторах.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Дослідження роботи електровакуумного діода

Мета роботи: ознайомлення з роботою електровакуумного діода, визначення роботи виходу електрона з металу, основних параметрів діода.

1.Обладнання

Вакуумний діод, міліамперметр, регульоване джерело живлення, джерело постійної напруги на 150 В, вольтметр, мультиметр , мікроамперметр, набір шунтів, подільник напруги, з'єднувальні провідники.

2.Загальні положення

Робота електронних ламп базується на явищі термоелектронної емісії. Розглянемо будову і роботу найпростішої електронної лампи - діода. Діод складається зі скляного чи металевого балона, з якого відкачане повітря, і двох електродів - анода і катода.

Катод нагрівається струмом, створюваним джерелом розжарювання. Температуру розжарювання можна змінювати, регулюючи силу струму розжарювання. Температурою катода визначається струм емісії, тобто число електронів, що виходять з катода в одиницю часу.

Анод являє собою тонкостінний циліндр навколо катода. Напруга між катодом і анодом називається анодною напругою. На анод подається потенціал плюс, на катод – мінус. Електрони, які випромінюються розжареним катодом внаслідок термоелектронної емісії, притягуються анодом, осідають на ньому і утворюють так званий анодний струм.

Основною характеристикою діода є його анодна характеристика, тобто залежність анодного струму I_a до зміни анодної напруги ΔU_a .

$$S = \Delta I_a / \Delta U_a .$$

Внутрішнім опором діода постійному струмові R_{i0} називають відношення анодної напруги до анодного струму

$$R_{i0} = U_a / I_a .$$

Основною характеристикою діода є його анодна характеристика (рис.1.2.б).

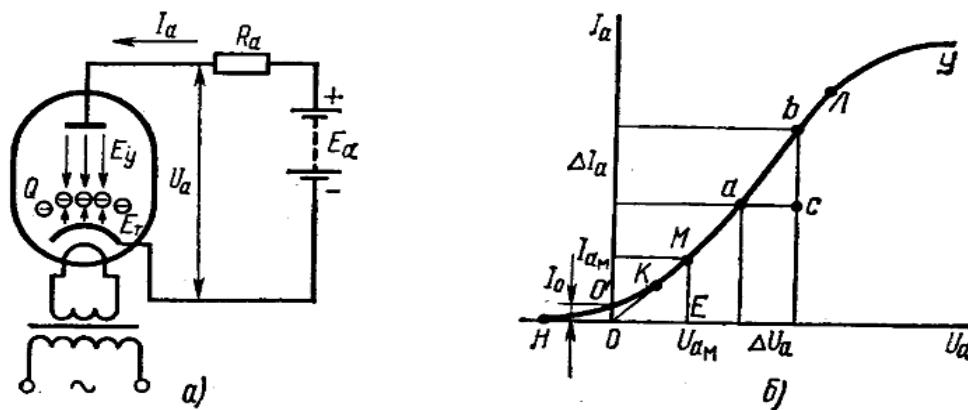


Рис. 1.2 - Схема ввімкнення діода (а) і його анодна характеристика (б)

Крутизна анодної характеристики діода визначається як відношення зміни анодного струму ΔI_a до зміни анодної напруги ΔU_a

$$S = \Delta I_a / \Delta U_a .$$

Внутрішнім опором діода постійному струмові $R_{i.o}$ називають відношення анодної напруги до анодного струму

$$R_{i.o} = U_a / I_a .$$

Внутрішній опір діода змінному струмові R_i визначається відношенням

$$R_i = dU_a / dI_a .$$

Якщо при постійному струмі розжарювання зняти залежність анодного струму від анодної напруги (вольт-амперну характеристику), то виявиться, що при визначеному значенні напруги на аноді струм перестає залежати від напруги, тобто досягається так званий струм насичення, що в ідеальному випадку за величиною збігається зі струмом емісії. Таке обмеження анодного струму пов'язане з тим, що досягається така різниця потенціалів між анодом і катодом, при якій всі електрони, що вийшли з катода, попадають на анод. Величина струму емісії залежить від температури розжарення катода, тому струм насичення теж є функцією від температури катода (рис. 2.І).

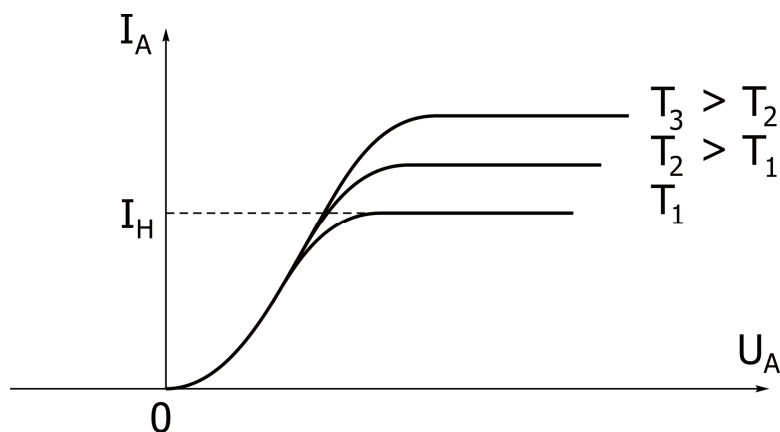


Рис. 2.2

Найменша енергія, яку необхідно надати електрону для того, щоб видалити його з твердого чи рідкого тіла у вакуум, називається роботою виходу $A_{\text{вих}} = e\phi$, де ϕ - потенціал виходу, e - заряд електрона.

Якщо в одиницю часу з одиниці поверхні катода вилітає N електронів, то густина струму насичення буде

$$j_{\text{нас}} = Ne.$$

Таким чином, вимірюючи густина струму насичення при різній силі струму розжарення, можна знайти кількість електронів, що вилітають з одиниці поверхні при різних температурах. Залежність густини струму насичення від абсолютної температури T описується формулою Річардсона – Дешмена:

$$j_{\text{нас}} = AT^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right). \quad (2.1)$$

де T – абсолютна температура, k – стала Больцмана, A - константа.

Як видно з цього співвідношення, для підвищення густини струму насичення є дві можливості: підвищення температури і зменшення роботи виходу $e \cdot \phi$. Для цієї мети при виготовленні електронних ламп застосовують спеціальні покриття і способи обробки катодів, що приводять до зниження роботи виходу.

Для обчислення роботи виходу необхідно зняти вольт-амперні характеристики діода для різних струмів розжарювання. Далі з формули (2.1) шляхом логарифмування одержуємо

$$\ln j_{\text{нас}} = \ln A + 2 \ln T - \frac{A}{kT}.$$

Вважаючи, що залежність третього доданку від абсолютної температури T більш швидка ніж другого доданка $2 \ln T$, одержимо

$$\ln j_{\text{нас}} = \text{const} - \frac{A}{kT}.$$

Якщо побудувати графік залежності $\ln j_{\text{нас}} = f(T^{-1})$, можна знайти $e\Phi/k$ як тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, тобто

$$\frac{A}{k} = - \frac{\Delta \ln j_{\text{нас}}}{\Delta T^{-1}} = - \frac{\Delta \ln I_{\text{нас}}}{\Delta T^{-1} S}.$$

Остання рівність стає очевидною, якщо врахувати, що сила струму $I_{\text{нас}}$ пов'язана з густиною струму $j_{\text{нас}}$ і площею поверхні катода S формулою $I_{\text{нас}} = j_{\text{нас}} S$.

Температуру катода t визначають у такий спосіб. Опір нитки розжарювання є функція температури, тому беруть значення опору її R_k при кімнатній температурі t_k і опору R_t при температурах розжарювання t , для яких знімалися вольт-амперні характеристики, і з відомого співвідношення одержують:

$$t = \frac{R_t}{R_k} \left(\frac{1}{\alpha} + t_k \right) - \frac{1}{\alpha}, \quad (2)$$

де α - термічний коефіцієнт опору матеріалу катода.

3.Опис установки

Схема лабораторної установки приведена на рис.3.1. Напруга та струм розжарювання катода діода J_1 регулюються за допомогою подільника напруги, що складається з резисторів R_1 , R_2 , вольтметр V та міліамперметр A_1 призначені для їх вимірювання. Міліамперметр A_2 разом з шунтами $R_{ш1}$, $R_{ш2}$ призначений для вимірювання анодного струму. Подільник анодної напруги дає можливість змінювати анодну напругу в межах від 0 до 15в, від 0 до 50в та від 0 до 150в.

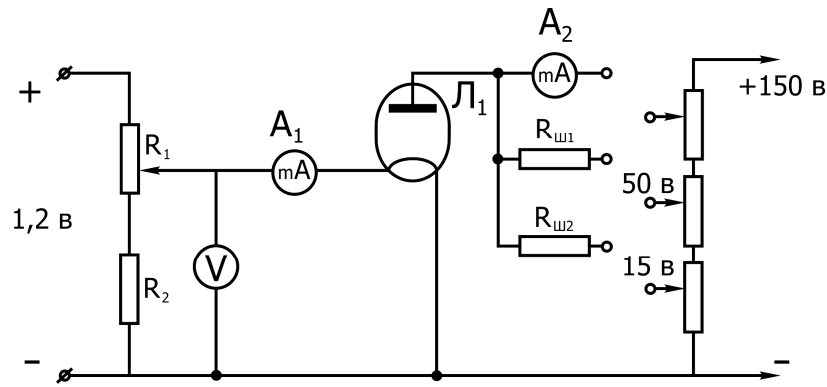


Рис.3.1

4.Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою лабораторної установки.
2. Одержати завдання на виконання лабораторної роботи у викладача і ввімкнути установку.
3. Зняти вольт - амперні характеристики діода при різних напругах U_p (не менше трьох) і струмах I_p розжарювання (заданих викладачем) і дані занести в таблицю 4.1.
4. Побудувати три криві $I_A = f(U_A)$ і по них визначити $I_{нас}$ для кожної кривої і результати занести в таблицю 4.2.
5. На лнійній ділянці для кожної з трьох побудованих залежностей $I_A = f(U_A)$ визначити крутизну S та внутрішній опір R_{i0} діода.
6. Провести розрахунок $R_t = U_p / I_p$ і результати занести в таблиці 4.1 і 4.2.
7. За отриманими R_t і наявними на робочому місці t_k , R_k провести розрахунок температур розжарювання за формулою (2) і результати занести в таблицю 4.2.
8. Побудувати графік $\ln I_{нас} = f(T^I)$.
9. Користуючись графіком, визначити роботу виходу:

$$\frac{A_{вих}}{k} = - \frac{\Delta \ln I_{нас}}{\Delta T^{-I}};$$

$$A_{вих} = k \left(- \frac{\Delta \ln I_{нас}}{\Delta T^{-I}} \right) .$$

$$t_k = \quad R_k = \quad \alpha =$$

Таблиця 4.1

$U_A, \text{ В}$	$I_p=$	$U_p=$	$R_t=$	$I_p=$	$U_p=$	$R_t=$	$I_p=$	$U_p=$	$R_t=$
	I_A			I_A			I_A		
	под.	mA		под.	mA		под.	mA	
.....	

Таблиця 4.2

$I_{\text{нас}}, \text{ mA}$	$\ln I_{\text{нас}}$	$R_t, \text{ кОм}$	$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{ K}$	$T^{-1}, \text{ K}^{-1}$

$$A_{\text{вих}} =$$

Контрольні запитання

1. Що називається роботою виходу?
2. Що називається термоелектронною емісією?
3. Що таке струм насичення і від чого залежить його величина?
4. Що називається вольт - амперною характеристикою електронної лампи?
5. Чому електрони не можуть покинути метал, якщо їм не надавати додаткову енергію?
6. Чим визначається величина роботи виходу для кожного металу?
7. Що таке крутизна анодної характеристики діода?
8. Що таке внутрішній опір діода?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Дослідження роботи триелектродної електронної лампи

Мета роботи – зняття вольт-амперних (анодних і сіткових) характеристик триелектродної лампи і визначення її основних параметрів.

1. Обладнання

Універсальне джерело струму, триелектродна лампа, вольтметр і міліамперметр, потенціометри.

2. Загальні положення

Триелектродна електронна лампа (тріод) являє собою скляний балон з трьома електродами (катод, анод і сітка), що знаходяться в середині балона, з якого ретельно викачане повітря (тиск складає мільйонні частки мм.рт.ст). При цьому створюють таку форму електродів і їхнє розміщення, щоб при невеликих змінах напруги між катодом і керуючим електродом (сіткою) одержувати різкі й великі зміни величини анодного струму, що проходить крізь лампу. З цією метою анод (3) і сітку (2) виконують у вигляді коаксіальних циліндрів, а катод (1) – уздовж осі циліндра. Сітка має вигляд спіралі з досить великим кроком, щоб надати можливість електронам, що вилітають з поверхні катода, пройти до анода і створити анодний струм (див. рис. 2.1).

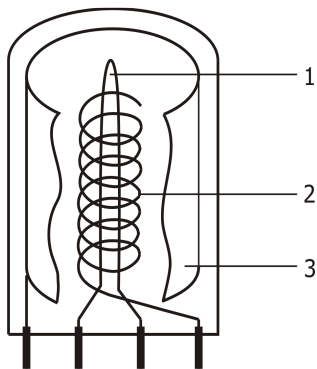


Рис. 2.1

Катод робиться або у вигляді нитки, або теж у вигляді циліндра. Від кожного електрода назовні виведені контакти в цоколь лампи для увімкнення тріода в електричне коло. Такі тріоди використовуються в лампових генераторах і підсилювачах змінного струму. Пізніше на зміну їм прийшли сучасні напівпровідникові прилади. Однак тріоди продовжують використовуватися в електроніці, там, де потрібна особлива надійність.

Термоелектронна емісія – це випарювання електронів з поверхні нагрітих твердих чи рідких тіл. Для нагрівання катода використовується нитка розжарювання, що вводиться у середину катода.

Найменша температура катода, при якій починається досить інтенсивна емісія, складає приблизно $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, але вимагає спеціального покриття поверхні катода (плівки торію, цезію, барію, окисів деяких металів).

Кількість електронів, що вилітають щомиті з розжареного катода, визначається його площиною, матеріалом і залежить від температури. Однак при відсутності електричного поля між катодом і анодом електрони, що випускаються, не досягають анода, а оточують його у вигляді хмари. При позитивному потенціалі на аноді електричне поле буде прискорювати електрони, вони рухаються до анода, осідають на аноді і крізь лампу піде струм, якій називається анодним струмом і величина якого зростатиме зі збільшенням різниці потенціалів між катодом і анодом. Починаючи з деякого значення анодної напруги і подальше зростання сили анодного струму взагалі припиняється, тобто струм досягає насичення. Це обумовлено тим, що всі електрони, які іспускаються катодом, досягають анода.

Анодний струм, величина якого перестав залежати від анодної напруги, є анодним струмом насичення. У лампах з оксидним катодом досягти насичення не можна, тому що при великих значеннях анодної напруги відбувається руйнування катода.

Якщо аноду надати негативний потенціал, а катоду позитивний, то електрони під дією сил електричного поля будуть відштовхуватися від анода, і струму в лампі не буде.

У тріоді при анодній напрузі U_A і постійній температурі катода сила анодного струму істотно залежить від потенціалу на сітці U_C . Сітка розташована ближче до катода, ніж анод, тому її поле більше впливає на потік електронів. При позитивному потенціалі на сітці її поле складається з полем анода, і потік електронів буде прискорюватися сильніше, анодний струм дуже швидко зростатиме. При деякому негативному потенціалі на сітці її поле гальмує електрони, анодний струм зменшується, і можна знайти такий негативний потенціал, при якому жоден електрон, що випускається катодом, не досягає анода, незважаючи на те, що на аноді потенціал буде позитивним. Найменша негативна напруга на сітці лампи, при якій лампа перестає проводити струм, називається запираючою напругою.

Знаючи дві сіткові характеристики, зняті при двох різних анодних напругах U_{A1} , U_{A2} , можна визначити параметри лампи, тобто величини, що характеризують її якість і властивості. Анодний струм тріода при постійній температурі катода є функцією напруги на сітці й аноді лампи. Таким чином, у

тріоді анодний струм буде функцією двох напруг $I_A = f(U_A, U_C)$, що можуть змінюватися незалежно друг від друга. Тому можна вивчати залежності:

$I_A = f(U_A)$ при $U_C = const$ – анодна характеристика;

$I_A = f(U_C)$ при $U_A = const$ – сіткова характеристика.

Сімейства анодних і сіткових характеристик лампи подано на рис. 2.2 і 2.3.

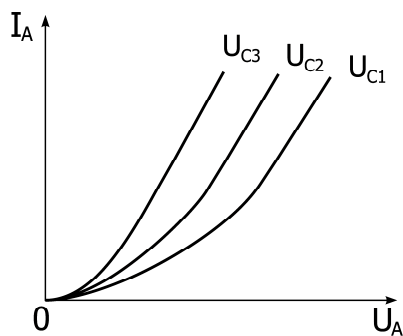


Рис.2.2

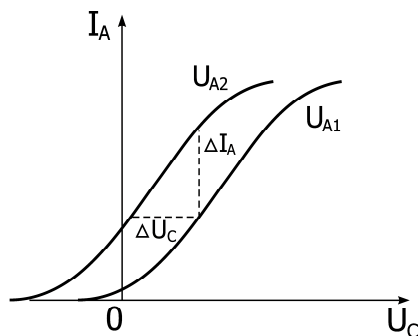


Рис.2.3

Існують три важливих параметри електронної лампи: внутрішній опір R_i , крутизна сіткової характеристики S і коефіцієнт підсилення лампи μ .

Внутрішній опір визначається як відношення приросту анодної напруги до викликаного ним приросту анодного струму (при сталій напрузі на сітці лампи):

$$R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} = \frac{U_{A2} - U_{A1}}{BC}, \quad (2.1)$$

Крутизна сіткової характеристики (крутизна лампи) визначається як тангенс кута нахилу характеристики:

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_C} = \frac{CB}{AB}. \quad (2.2)$$

Крутизну сіткової характеристики називають ще провідністю лампи по сітці.

Коефіцієнт підсилення μ дорівнює відношенню зміни анодної напруги ΔU_A до зміни напруги на керуючій сітці ΔU_C , що спричиняють ту ж саму зміну анодного струму:

$$\mu = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_C} \quad \text{при} \quad I_A = const. \quad (2.3)$$

Величина, обернена до коефіцієнта підсилення, називається проникністю лампи:

$$D = \mu^{-1}.$$

Коефіцієнт підсилення лампи μ показує, в скільки разів сіткова напруга прикладена до сітки, діє сильніше, ніж анодна напруга, прикладена до анода.

Зв'язок між цими параметрами лампи визначається формулою

$$\frac{R_i S}{\mu} = 1 . \quad (2.4)$$

Для визначення параметрів лампи методом трьох точок треба на прямолінійній ділянці двох сіткових (або анодних) характеристик побудувати характеристичний трикутник ABC як це показано на рис. 2.3. Сторона AB визначає зміну напруги на аноді лампи ΔU_A (рис. 2.2) або на сітці ΔU_C (рис. 2.3), BC – зміну анодного струму ΔI_A .

3.Опис установки

Схему лабораторного макета показано на рис.3.1.

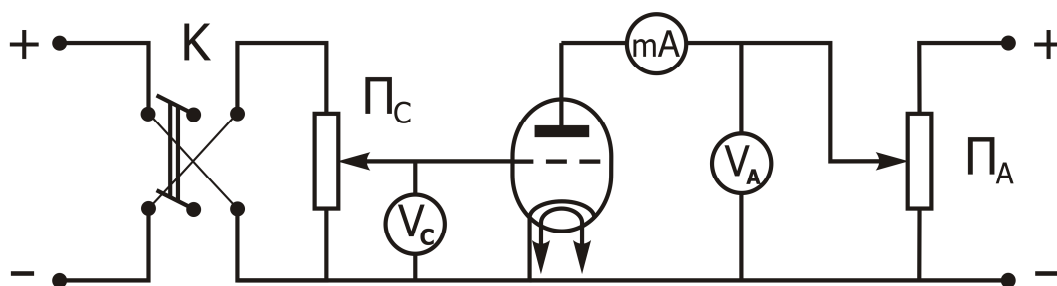


Рис. 3.1

Перемикач K дозволяє змінювати полярність напруги U_C , що подається на сітку від дільника напруги P_C . Анодна напруга U_A до лампи подається і регулюється потенціометром P_A і вимірюється вольтметром V_A .

Міліамперметр mA визначає анодний струм лампи I_A . Підігрів катода здійснюється ниткою розжарювання, до якої підводиться змінна напруга $6,3V$.

4.Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою експериментальної установки на лабораторному столі.
2. Одержати завдання на виконання лабораторної роботи, значення напруг U_A і U_C у викладача і ввімкнути установку.
3. Зняти анодні характеристики тріода при заданих постійних напругах на сітці лампи U_C . Дані записати в табл. 1. Побудувати сімейство анодних характеристик, відкладаючи вздовж осі x значення U_A у вольтах, а вздовж осі y – значення I_A у міліамперах.

- Зняти сіткові характеристики при заданих значеннях анодної напруги, отриманих у викладача. Дані записати в табл. 2.
- Побудувати сімейство сіткових характеристик.
- Для прямолінійних ділянок отриманих характеристик визначити, користаючись співвідношеннями (2.1), (2.2), (2.3), параметри R_i , S , μ . Перевірити співвідношення (2.4).
- Визначити абсолютні похибки розрахунку параметрів R_i , S , μ .

Таблиця 1

Анодні характеристики									
Анодний струм I_A , mA									
U_A , В	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$U_C =$									
$U_C =$									

Таблиця 2

Сіткові характеристики									
Анодний струм I_A , mA									
U_c , В	-4	-2	0	2	4	8	12	16	20
$U_A =$									
$U_A =$									

Контрольні запитання

- Які будова і принцип дії вакуумного тріода?
- У чому полягає явище термоелектронної емісії?
- Що таке струм насичення?
- Що називається анодною і сітковою характеристиками лампи?
- Яка роль негативного об'ємного заряду ("електронної хмари")?
- Яка умова попадання електронів на анод ?
- Дати визначення і пояснити фізичний зміст основних параметрів лампи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Дослідження залежності з провідності напівпровідників від температури

Мета роботи - експериментально встановити закон залежності провідності напівпровідника від температури при його нагріванні, визначити ширину забороненої зони, концентрацію вільних носіїв заряду в напівпровіднику при різних температурах.

1.Обладнання

1. Експериментальна установка (термоопір, термостат, стабілізатор сили струму).
2. Джерело постійної напруги.
3. Міліамперметр постійного струму.
4. Мультиметр.

2.Загальні положення

Розглянемо будову напівпровідників з точки зору квантової теорії. Відомо що електрони в ізольованому атомі можуть мати тільки певні значення енергії. Ці значення енергії носять назву енергетичних рівнів.

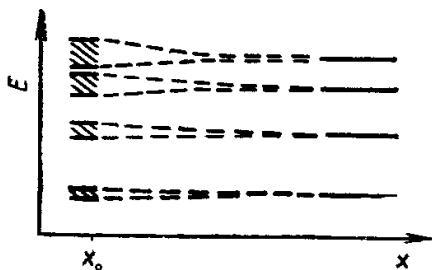


Рис.2.1 - Розщеплення енергетичних рівнів ізольованого атома

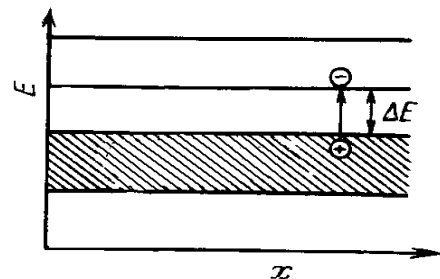


Рис.2.2. - Заповнення рівнів зон у діелектриках і напівпровідниках

Уявімо собі, що атоми зближаються один з одним (рис.2.1.) і в решті решт, коли відстань δ наближається до δ_0 (сталой кристалічної ґратки), утворюють кристалічну ґратку твердого тіла. При зближенні атомів, внаслідок взаємодії між електронними оболонками атомів, виникає система енергетичних підрівнів, що носить назву дозволеної зони.

Дозволені зони відділяються одна від одної забороненою зоною “ширина” якої – ΔE (див. Рис.2.2).

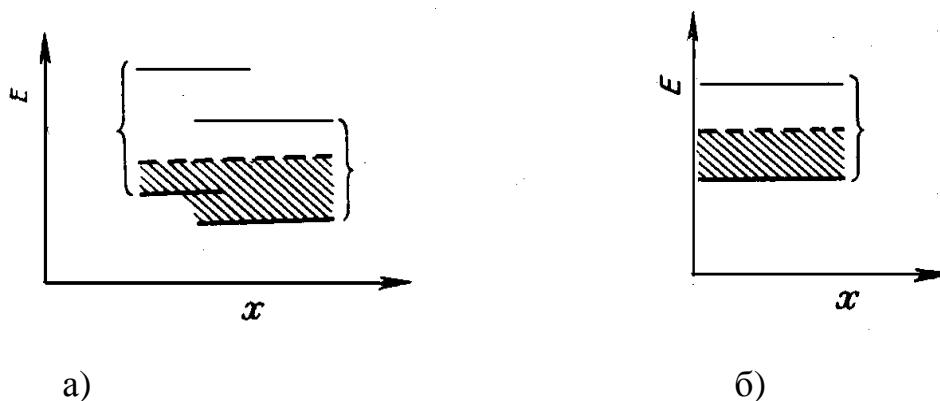


Рис.2.3 - Схема заповнення зон у металах

Внутрішні дозволені зони, що відповідають заповненим оболонкам ізолюваного атома, повністю заповнені електронами. Ці зони не впливають на електричні властивості кристала. Оскільки більшість властивостей кристала пояснюється станом валентних електронів, то в зонній теорії розглядають валентну зону (зону, що утворилась із рівня на якому знаходяться валентні електрони) і найближчу до неї незаповнену зону, що називається зоною провідності. В провідниках (металах) зона провідності або перекривається з валентною зоною (рис.2.3.а) або півзаповнена (рис.2.3.б), а тому існує велика кількість вільних носіїв заряду. В зоні провідності електрони мають таку енергію, що вони можуть вільно рухатись у кристалах.

Заповнення зон при абсолютному нулі температури в напівпровідниках і діелектриках має однаковий вигляд (рис.2.2.), тобто валентна зона повністю заповнена, а зона провідності – пуста і різниця між напівпровідниками й діелектриками полягає в ширині забороненої зони: для діелектриків $\Delta E > 3 \text{ eV}$; для напівпровідників $\Delta E \leq 1 \text{ eV}$.

В напівпровідниках, таких як германій і кремній, ширина забороненої зони дорівнює: $\Delta E \sim 1 \text{ eV}$ (1 eV (електрон вольт) – це енергія, якої набуває електрон, що пройшов різницю потенціалів 1 B).

Розглянемо напівпровідники при абсолютному нулі температури. При $T = 0$ зона провідності пуста, напівпровідник веде себе як діелектрик, бо в ньому немає вільних електричних зарядів.

При підвищенні температури, при деякому значенні T , деякі електрони в валентній зоні набувають енергії, достатньої для того, щоб перейти з валентної зони в зону провідності. При цьому в зоні провідності з'являється електрон а в валентній зоні – некомпенсований позитивний заряд –дірка(рис.2.2.).

Як вільний електрон в зоні провідності, так і дірка в валентній зоні приймають участь у провідності, тобто якщо до напівпровідника прикласти напругу, то в ньому потече струм, який буде складатися з електронного і дірочного струму $I = I_{el} + I_o$. Дірка в кристалі пересувається завдяки впорядкованому руху електронів. При цьому кожен електрон пересувається на відстань, що дорівнює сталій ґратки, а дірка може пройти весь кристал. Це відбувається під дією зовнішньої напруги.

Таким чином, власна провідність чистого напівпровідника завжди є змішаною, або електронно- дірковою.

Провідність у напівпровіднику описується співвідношенням:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E / 2 k T), \quad (2.1)$$

де σ_0 – *const*; k – стала Больцмана; T - абсолютна температура; ΔE - ширина забороненої зони.

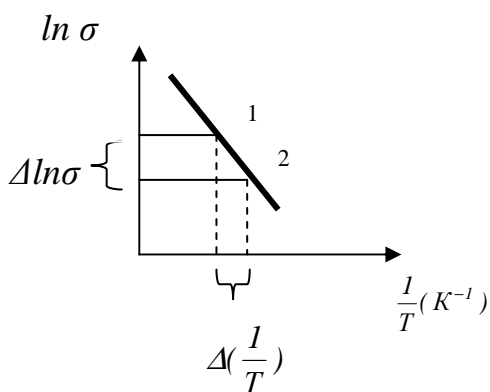


Рис.2.4 - Залежність провідності чистого напівпровідника від температури

Графік залежності провідності від температури в логарифмічному масштабі приведений на рис.2.4.

Логарифмуючи співвідношення (2.1) $\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \Delta E / 2 k T$, і користуючись графіком (рис.2.4) $\Delta \ln \sigma = -(\Delta E / 2 k) \cdot \Delta(1 / T)$, можна визначити ширину забороненої зони $\Delta E = 2k \Delta(\ln \sigma) / \Delta(1 / T)$. (2.2)

3.Опис установки

Германієвий напівпровідник *БК* (термоопір) знаходиться у термостаті з нагрівачем *ЕК*, що підключається до джерела живлення вимикачем *SA1* (рис.3.2.).

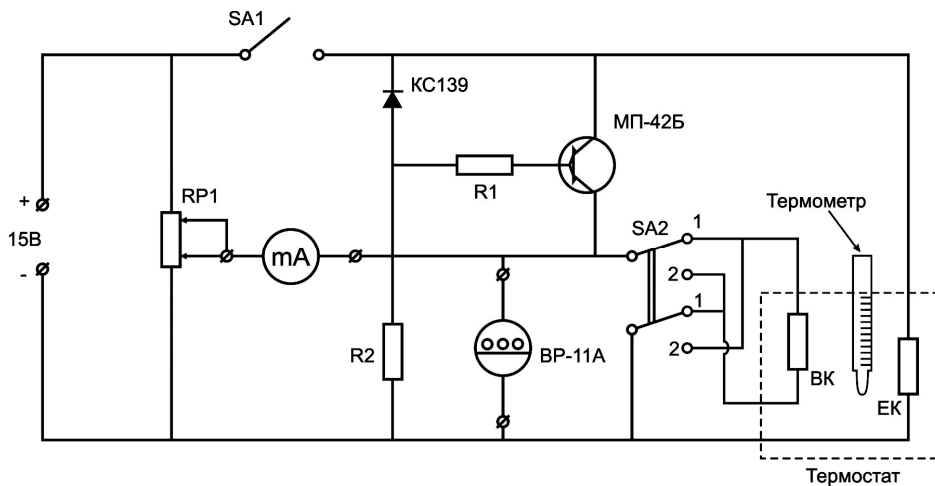


Рис.3.2

Тумблер *SA2* змінює напрямок струму в термоопорі *БК*. Величина сили струму в колі *БК* підтримується незмінною за допомогою стабілізатора при змінах опору *БК*, викликаних його нагріванням. Для початкової установки сили струму використовується потенціометр *RP1*.

4.Послідовність виконання роботи

1. Зібрати робочу схему (рис. 3.2).
2. Ввімкнути живлення тумблером *SA1* і встановити потенціометром *RP1* силу струму, зазначену викладачем (від 1 до 1,3 мА).
3. Зняти залежність падіння напруги на термоопорі від температури. Значення падінь напруги визначати при різному напрямку струму (U^+ і U^-), температура нагрівання не повинна перевищувати 70°C . Дані занести в таблицю 1.
4. За отриманим даними обчислити середні значення напруги на *БК*.

$$\langle U \rangle = \frac{U^+ + U^-}{2}$$

і його провідність $\sigma = \frac{I}{\langle U \rangle}$ для всіх значень температури. Результати занести в таблицю 1.

5. Обчислити значення $\frac{I}{T}$ й $\ln \sigma$ для всіх температур і занести в таблицю 2.

6. За даними таблиці 2 побудувати графік залежності $\ln \sigma = f\left(\frac{I}{T}\right)$.

7. За графіком визначити ширину забороненої зони германія за формулою(2.2).

Виразити сталу Больцмана в електрон-вольтах та обчислити ширину забороненої зони в електрон-вольтах.

8. Визначити концентрацію електронів провідності германія при температурі $70^0 C$ за формулою:

$$n_2 = n_1 \frac{\sigma_2}{\sigma_1},$$

де $n_1 = 2,4 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ - концентрація електронів провідності при $T_1 = 300 K$, а n_2 - при $T_2 = 343 K$. Значення провідностей можна взяти з таблиці 1 або провести екстраполяцію побудованого графіка в область цих температур і після цього визначити провідність при заданих температурах.

Таблиця 1

$t^0 C$	25	30	35	40	45	50	60	65	70
U^+, B									
U^-, B									
$\langle U \rangle, B$									
$\sigma, Cм/м$									

Таблиця 2

T, K									
$\frac{I}{T}, \hat{E}^{-1}$									
$\ln \sigma$									

Контрольні запитання

1. Які речовини називаються напівпровідниками?
2. Яка зонна модель власного напівпровідника?
3. Порівняти зонні моделі напівпровідника, діелектрика й металу.
4. Пояснити залежність провідності напівпровідника від температури.
5. Який тип провідності у власних напівпровідників?
6. Пояснити виникнення “дірок” і показати їхнє розташування в зонній моделі напівпровідника.
7. Одержати робочу формулу для визначення ширини забороненої зони власного напівпровідника.
8. Одержати робочу формулу для обчислення концентрації носіїв струму в напівпровіднику при заданій температурі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Вивчення провідності напівпровідникового діода та його роботи в схемах випрямлення змінного струму

Мета роботи – дослідження провідності р-n-переходу, вивчення роботи однопівперіодного і двопівперіодного випрямлячів змінного струму.

1.Обладнання

1. Джерела змінної й постійної напруги 10 В .
2. Потенціометр.
3. Діод Д9Б.
4. Цифровий мультиметр ВР-11А.
5. Мікроамперметр
6. Резистори.
7. Осцилограф.
8. Мостова схема випрямляча на діодах Д802.

2.Загальні положення

Напівпровідниковий діод являє собою кристал напівпровідника, одна частина якого має р-тип провідності, а інша - п-тип провідності (рис.2.1).

Домішкова провідність виникає в чистому напівпровіднику при введенні домішки, атом якої має незаповнений рівень поблизу верхнього рівня валентної зони (пунктирна лінія, рис.2.1.а). В цьому випадку найменшого збудження наприклад прикладення напруги досить для того, щоб електрон із валентної зони перейшов на рівень домішки. При цьому в валентній зоні з'явиться дірка але для того щоб електрон перейшов у зону провідності треба мати набагато більшу енергію. Таким чином, вільних електронів у зоні провідності не виникає і провідність буде чисто дірковою.

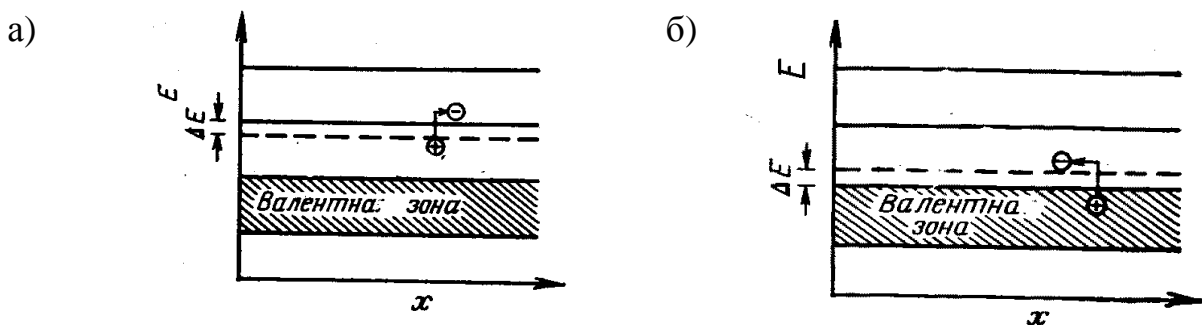


Рис2.1

Для того, щоб отримати провідність електронного типу необхідно підібрати атом домішки так, щоб цей атом мав рівень, заповнений електроном, поблизу дна зони провідності (рис.2.1.б). В цьому випадку електрон з рівня атома домішки легко переходить у зону провідності. При цьому з'являється вільний електрон. Переходів електронів із валентної зони в зону провідності не відбувається, таким чином у валентній зоні дірки не виникають, тобто ми отримуємо провідність електронного або n – типу.

Коли йде мова про p - n -перехід, мають на увазі перехід з p -легованої області в n -леговану область у певній кристалічній ґратці основної речовини (наприклад, германію). Легування – це термічна обробка напівпровідника при якій в нього вводиться домішка. Розглядається симетричний p - n -перехід, тобто концентрація донорів (домішки n -типу) дорівнює концентрації акцепторів (домішки p -типу). У перехідній області (рис.2.2.а) внаслідок дифузії відбувається рекомбінація електронів і дірок, тому більшість основних носіїв заряду зникають. Густина вільних електронів і дірок змінюється при цьому так, як показано на рис.2.2,б). У перехідній зоні залишаються позитивно й негативно іонізовані атомні остови, що створюють просторовий заряд; n -зона в межах перехідної зони позитивна, p -зона – негативна (рис.2.2.в). Виникає різниця потенціалів U_D (рис.2.2.г) і електричне поле, що створює дрейфовий струм. У рівноважному стані (тобто при відсутності зовнішньої напруги) повний струм що складається з дифузійного (основних носіїв) і дрейфового струму (неосновних носіїв), дорівнює нулю, бо вони направлені назустріч одне одному.

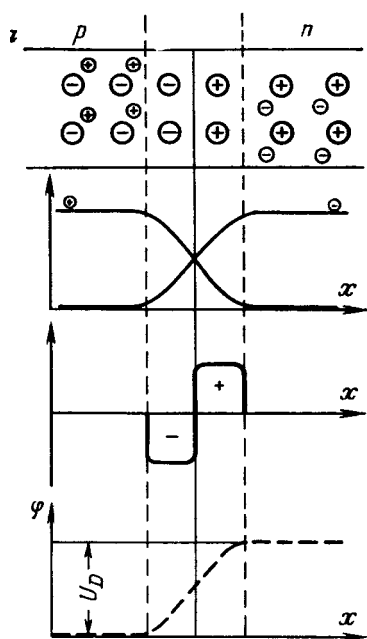


Рис. 2.2

а)

б)

в)

г)

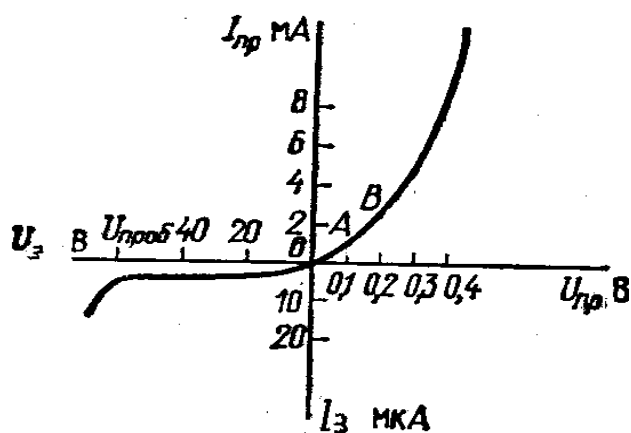


Рис.2.3

Електричною провідністю межевого шару (обмеженого на рис. 2.2. вертикальними лініями) можна керувати, якщо прикласти напругу між p - та n -областями. Якщо прикласти “плюс” до n -бласті а “мінус” до p -області, то вільні електрони з межевого шару потечуть до позитивного полюса, а дірки - до негативного полюса(рис.2.4.а). Межовий шар розширяється. Позитивний просторовий заряд у n -області й негативний просторовий заряд у p -області зростають. Між областями виникає різниця потенціалів U_p і межовий шар стає для основних носіїв заряду, тобто для електронів n -області й дірок p -області, запірним шаром. Неосновні носії можуть долати запірний шар створюючи невеликий струм. При зміні полярності прикладеної напруги основні носії будуть зміщуватися назустріч одне одному, внаслідок чого різниця потенціалів U_p в межевому шарі зменшується(рис.2.4.б).

Таким чином, p - n -перехід є несиметричним по відношенню до напрямку зовнішньої напруги. В залежності від її полярності він або пропускає, або не пропускає струм. Елементи з такими вентильними властивостями називають діодами. В запірному напрямку при малих напругах тече слабкий зворотний струм I_{ϕ} . Лише при високих напругах $U \geq U_{\text{діа}}$, коли настає пробій, зворотний струм різко зростає, така напруга вже є достатньою, щоб перевести валентні електрони в зону провідності. Найбільш важливі застосування діодів: випрямлення змінної напруги, перетворення частоти, демодуляція амплітудно-модульованих і частотно-модульованих сигналів.

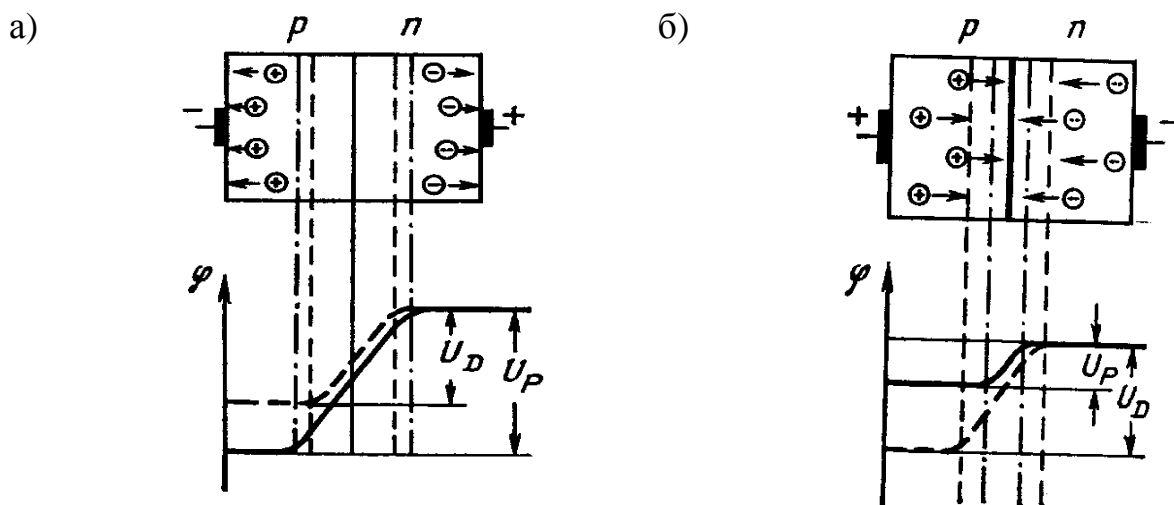


Рис.2.4

Здатність напівпровідникового діода проводити електричний струм в одному напрямку краще, ніж в іншому, спричиняє його застосування для випрямлення змінного струму.

3.Опис установки

Електрична схема лабораторної установки для зняття характеристик напівпровідникового діода представлена на рис.3.1.

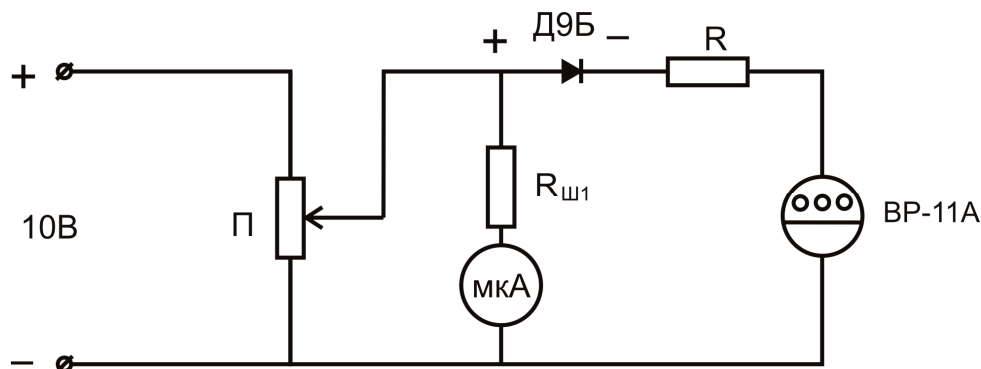


Рис.3.1

Для дослідження роботи однопівперіодного випрямляча необхідно використовувати схему макета, наведену на рис.3.2.

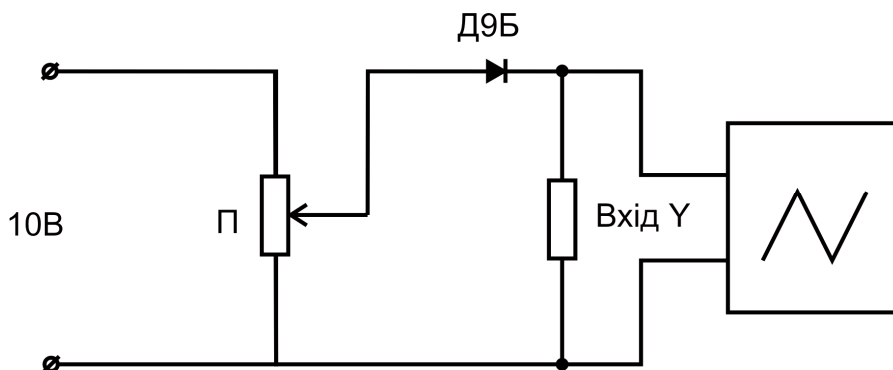


Рис.3.2

Електрична схема макета, що призначена для вивчення роботи двохнапівперіодного випрямляча, наведена на рис.3.2.

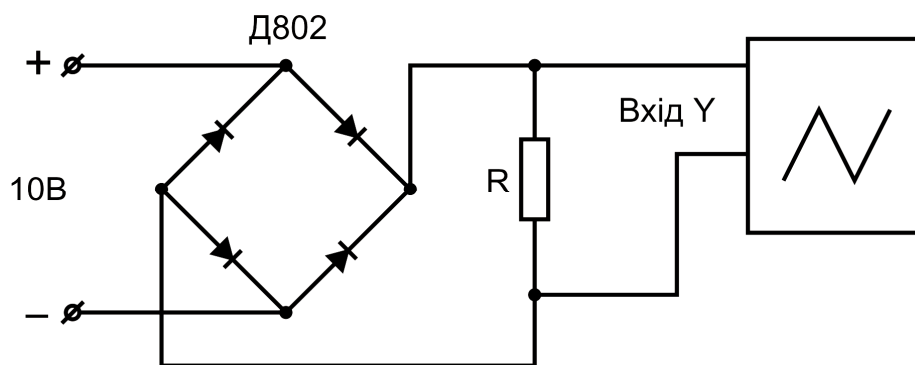


Рис.3.3

4.Послідовність виконання роботи

Завдання 1. Зняти вольт-амперну характеристику діода, визначити залежність коефіцієнта випрямлення k й опору діода R від прикладеної напруги.

1.1. Зібрати схему установки, що наведено на рис3.3. Установити потенціометр П у “нульове” положення, а прилад ВР -11А – у положення для вимірювання постійного струму. Як вольтметр, використовується мікроамперметр із номінальним значенням сили струму 100 мкА , включений послідовно з опором $R_1 = 980 \text{ Ом}$. Сто поділок шкали відповідають 10 В .

1.2. Ввімкнути електроживлення. Змінюючи потенціометром вхідну напругу через 1 В виміряти силу струму в колі діода в прямому напрямку. Результати записати в таблицю.

1.3. Змінити напрямок струму в колі діода (поміняти полярність включення діода). Установити потенціометр в “нульове” положення, а прилад ВР -11А в положення для виміру постійного струму.

1.4. Ввімкнути електроживлення. Змінюючи потенціометром вхідну напругу через 1 В виміряти силу зворотного струму в колі діода. Результати записати в таблицю.

1.5. Використовуючи дані таблиці для прямого і зворотного струмів зробити розрахунок коефіцієнтів випрямлення струму за формулою: $k = \frac{I_{np}}{I_{обр}}$. Дані занести в таблицю.

1.6. Використовуючи дані таблиці, обчислити напругу на діоді при прямому струмі за формулою: $U_{\partial} = U - U_r$, де U - вхідна напруга, $U_r = I_{np} R$ - напруга на резисторі $R = 300 \text{ Ом}$. Результати занести в таблицю.

1.7. Використовуючи дані таблиці, знайти значення прямого опору діода для всіх значень напруги U_{∂} за формулою: $R_{np} = \frac{U_{\partial}}{I_{np}}$. Дані знову занести в таблицю.

1.8. Знайти значення зворотного опору діода за формулою: $R_{обр} = \frac{U_o}{I_z} = \frac{U}{I_z}$.

Така заміна можлива, тому що $U_o = U - U_r = U - I_z R \approx U$ (I_z дуже малий).

Результати занести в таблицю.

1.9. Використовуючи дані таблиці, побудувати графіки залежностей: $I = f(U)$, $k = f(U)$, $R = f(U)$.

Завдання 2. Вивчення випрямлячів змінного струму.

2.1. Зібрати схему, що наведено на рис.3.4, для дослідження роботи однопівперіодного випрямляча. Намалювати осцилограму, отриману на екрані осцилографа.

2.2. Зібрати схему, що наведено на рис.3.5, для дослідження роботи двопівперіодного випрямляча. Намалювати осцилограму, отриману на екрані осцилографа.

Таблиця

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{пр}$, мА										
I_z , мкА										
k										
$R_{пр}$, кОм										
R_z , кОм										

Контрольні запитання

1. Домішкова провідність напівпровідника, залежність її від температури.
2. Пояснити механізм донорної провідності базуючись на зонній теорії.
3. Пояснити механізм акцепторної провідності базуючись на зонній теорії..
4. Устрій і робота напівпровідникового діода.
5. Намалювати схему однопівперіодного випрямляча й пояснити його роботу.
6. Намалювати схему двопівперіодного випрямляча й пояснити його роботу.
7. Пояснити хід вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода.
8. Фізичний зміст коефіцієнта випрямлення і його залежність від прикладеної напруги.
9. Пояснити хід залежності опору напівпровідникового діода від прикладеної напруги.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Дослідження явища резонансу в електричному коливальному контурі

Мета роботи: дослідження вимушених електромагнітних коливань, вивчення явища резонансу.

1. Обладнання

1. Котушка індуктивності $L=0,36\text{Гн}$
2. Конденсатори ємністю $C_1=0,05\text{мкФ}$, $C_2=0,025\text{мкФ}$
3. Резистори $R_1=100\text{Ом}$, $R_2=200\text{Ом}$
4. Генератор.
5. Мультиметр ВР-11А, шунт до нього.
6. З'єднувальні провідники.

2. Загальні положення

У послідовному колі (рис. 2.1), який складається з ємності C , індуктивності L , активного опору R і генератора, виникають вимушені електромагнітні коливання.

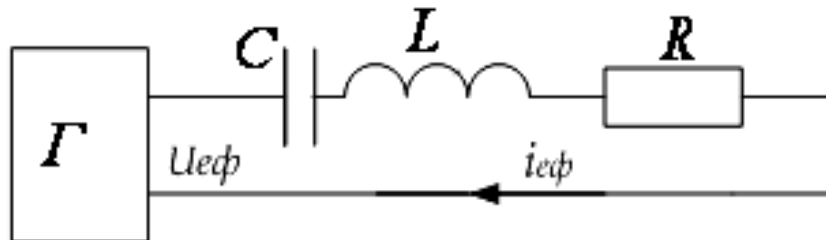


Рис.2.1

Рівняння таких коливань для миттєвих значень сили струму та напруги можна записати на основі 2-го закону Кірхгофа для даного кола:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{q}{C} = u_0 \cos \omega t, \quad (2.1)$$

де ω – циклічна частота напруги генератора;

u_0 – амплітуда напруги генератора;

q – миттєве значення заряду конденсатора.

Враховуючи, що $i = dq/dt$, можна отримати для коливання заряду диференціальне рівняння другого порядку. Розв'язання такого рівняння для усталеного значення сили струму описується гармонічною функцією часу

$$i = i_0 \cos(\omega t - \varphi), \quad (2.2)$$

де φ – зсув фаз між напругою і силою струму;

У рівнянні (2) i_0 – амплітуда сили струму в колі – знаходиться із співвідношення

$$i_0 = \frac{u_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{u_0}{Z}, \quad (2.3)$$

Зсув фаз φ можна обчислити з формули:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (2.4)$$

Рівняння (2.3) виражає закон Ома для повного послідовного кола змінного струму. Вираз в знаменнику цього рівняння є модулем повного електричного опору (модулем імпедансу) кола і може бути представлений у вигляді:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (2.5)$$

де X – реактивний опір кола (реактанс);

$X_L = \omega L$ – індуктивний опір (реактанс котушки індуктивності),

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ – ємнісний опір (реактанс конденсатора).

У повному послідовному колі амплітуда сили струму i_0 досягає максимального значення

$$i_{0m} = \frac{u_0}{R}, \quad (2.6)$$

коли індуктивний і ємнісний опори будуть однаковими:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}. \quad (2.7)$$

У цьому випадку циклічна частота генератора дорівнює частоті власних коливань кола ω_0 :

$$\omega = \omega_0, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (2.8)$$

зсув фаз (2.4) між струмом і напругою дорівнює нулю ($\varphi = 0$), тобто настає резонанс напруг: $U_L = U_C$.

У даній роботі змінюється частота ω_0 власних коливань повного кола шляхом зміни ємності C . Вимірюються ефективні значення сили струму. Графічне зображення залежності сили струму в колі i від частоти ω називається резонансною кривою. Резонансні криві за звичай будують у відносних одиницях, тобто $\frac{i_0}{i_{0m}} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)$ ($\frac{i_0}{i_{0m}}$ як функція $\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)$) (рис. 2.2)

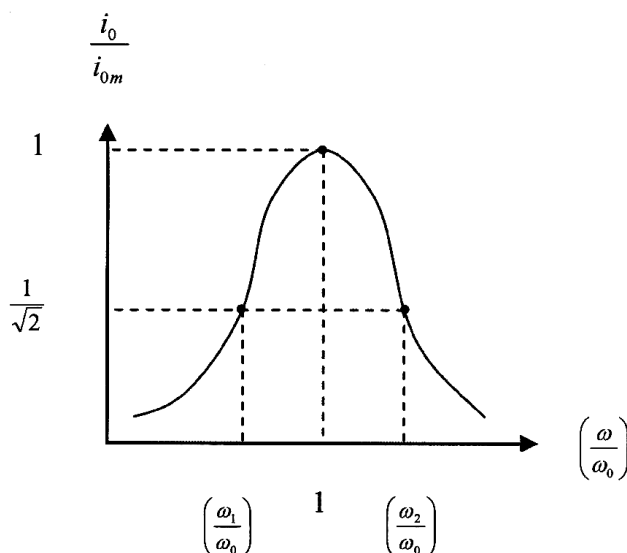


Рис.2.2

Важливими характеристиками коливального контура є добротність Q та загасання d . Добротність – це величина, яка показує у скільки разів напруга на індуктивності U_L або ємності U_C при резонансі більше напруги U_R на активному опорі

$$Q = \frac{U_L}{U_R} = \frac{\sqrt{4c}}{R} \quad (2.9)$$

Загасання d визначається за формулою:

$$d = \frac{I}{Q} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0}, \quad (2.10)$$

де ω_1, ω_2 частоти, при яких відношення $\frac{i}{i_0}$ зменшується в $\sqrt{2}$ разів (рис.2.2)

Тепер розглянемо коло, що складається із паралельно ввімкнених катушки індуктивності та ємності (рис. 2.3), паралельний контур.

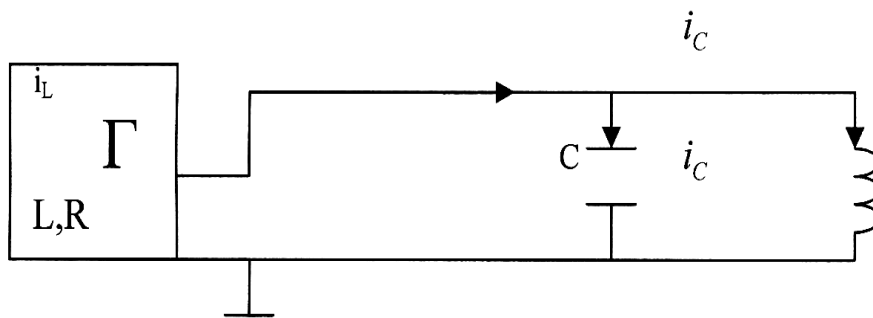


Рис.2.3

В такому колі при $\omega \rightarrow \omega_0$ також настає явище резонансу, яке носить назву резонансу струмів, бо воно виникає тоді, коли

$$i_{0L} - i_{0C} = 0. \quad (2.11)$$

За законом Ома для ділянки кола

$$i_{0L} = \frac{U_0}{\omega L}, \quad i_{0C} = U_0 \omega C. \quad (2.12)$$

Підставляючи (2.12) в (2.11) отримаємо $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Отже, резонанс струмів і резонанс напруг настають при одному і тому ж значенні частоти.

При виконанні умов $\omega_0 L \gg R_0$, та $L \gg C$ добротність і загасання для паралельного контура визначається за тими ж формулами (2.9), (2.10), що і для послідовного контура.

3.Опис установки

Лабораторна установка складається з котушки індуктивності (L), конденсатора (C), мультиметра ВР–11(А), генератора синусоїдальних напруг (Г), з'єднувальних провідників.

Схема послідовного контура наведена на рис.3.1 .

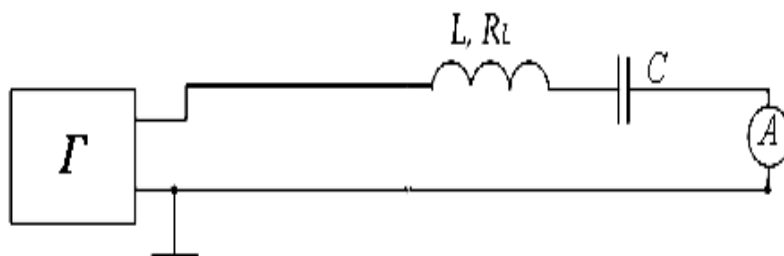


Рис. 3.1

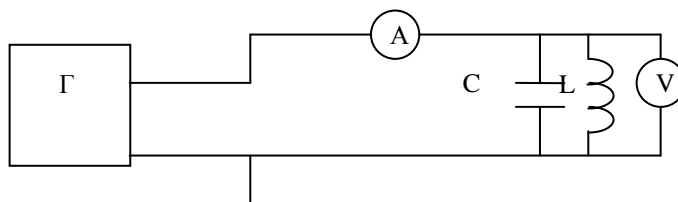
4.Послідовність виконання роботи

1. Скласти схему (рис.3.1). Ввімкнути в схему $C=C_1$. Простежити за тим, щоб нульові клеми всіх приладів були з'єднані разом. Встановити частоту генератора зазначену на робочому місці.
2. Увімкнути живлення приладів. Встановити вихідну напругу генератора 1–2В.
3. Змінюючи частоту генератора через кожні 200 Гц, зняти залежність $i(f)$, значення i , f занести в таблицю 1. Визначити резонансну частоту f_0 за максимумом ефективного значення струму i_m , змінюючи частоту в діапазоні $0,5 f_0 < f < 1,5 f_0$.
4. Ввести в схему послідовно з L і C опір $R_1=100$ Ом, зняти залежність $i(f)$ при сталому значенні напруги. Таку ж залежність зняти для $R=R_2$. Записати дані в таблицю.
5. За даними таблиці 1 побудувати на одному графіку 4 залежності $\frac{i}{i_m} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$. Для кожної резонансної кривої визначити добротність Q та загасання d за формулами (2.9), (2.10).

Таблиця 1

C=C ₁								C=C ₂			
R=R ₀				R= R ₀ + R ₁		R= R ₀ + R ₂		R=R ₀			
$f(\text{Гц})$	ω/ω_0	$i_0 (A)$	i_0/i_m	$i(A)$	i/i_m			$f(\text{Гц})$	ω/ω_0	$i_0 (A)$	i/i_m

6.Скласти схему паралельного контура представлена на рис.5, ввімкнувши конденсатор C_1 . (рис.3.2)



7. Зняти залежність $U(f)$ в діапазоні частот, вказану у п. 3. Дані занести в таблицю 2. Повторити вимірювання ввімкнувши замість C_1 , конденсатор C_2 . дані занести в таблицю 2.

8. За даними таблиці 2 побудувати на одному графіку дві залежності $\frac{U}{U_m} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$, та обчислити добротність і загасання.

Таблиця 2

$C=C_1$				$C=C_2$			
$f(\Gamma\text{ц})$	ω/ω_0	$U(B)$	U/U_m	$f(\Gamma\text{ц})$	ω/ω_0	$U(B)$	U/U_m

Контрольні запитання і завдання

1. Які коливання називаються вимушеними?
2. Наведіть розв'язок диференціального рівняння вимушених електромагнітних коливань.
3. Який струм називається змінним?
4. Запишіть закон Ома для повного кола змінного струму.
5. Що називається повним опором послідовного кола змінного струму?
6. Як залежать індуктивний і ємнісний опори від частоти вимушених коливань?
7. Що називається резонансом напруг? За якої умови він виникає?
8. Що таке добротність та загасання коливального контура? Як вони визначаються?
9. Що таке резонанс струмів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Вивчення роботи підсилювача на транзисторах

Мета роботи: ознайомлення з роботою підсилювача звукової частоти на транзисторах, вивчення параметрів та характеристик підсилювача.

1.Обладнання

Джерело живлення постійної напруги, підсилювач на транзисторах, генератор низьких частот, мультиметр ВР-11А, з'єднувальні провідники.

2.Загальні положення

Підсилювачі - це пристрої, які призначені для підсилення електронних сигналів при припустимому рівні спотворення їх форми, частоти.

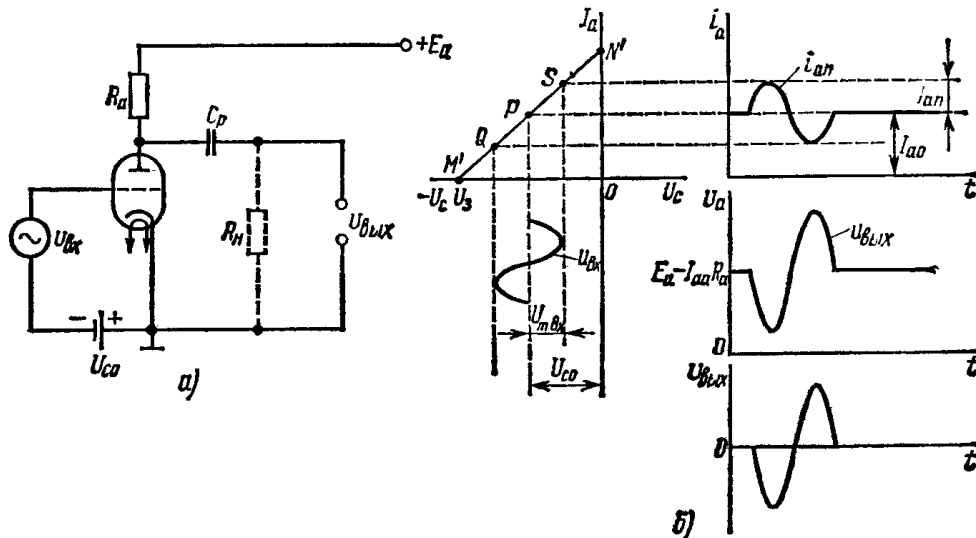


Рис.2.1 - Підсилювач на тріоді

Розглянемо спочатку роботу найпростішого підсилювача на тріоді, схема якого приведена на рис.2.1. При відсутності змінного входного сигналу $U_{вх}$ в анодному колі циркулює постійний струм I_{a0} (струм спокою), який зменшує напругу на аноді на $I_{a0} R_a$, тобто $U_a = E_a - I_{a0} R_a$. Коли на вхід подається змінний сигнал $U_{г\omega}$, в анодному колі з'являється змінна складова $i_{a\omega}$ анодного струму $i_{a\omega}$. В результаті струм в анодному колі $i_a = I_{a0} + i_{a\omega}$. Оскільки роздільний конденсатор C_p не пропускає постійну складову, на виході підсилювача отримуємо змінну складову анодної напруги $U_{вих} = i_{a\omega} R_a$.

Напруги $U_{вх}$ та $U_{вих}$ знаходяться в проти - фазі. Рис. 2.1.б. демонструє процес підсилення вхідного сигналу.

В наш час лампові підсилювачі застосовуються лише в тих випадках, коли необхідно передати сигнал великої потужності(сотні ват і більше), або високої напруги (вище 100 В). Значно ширше використовуються транзисторні підсилювачі.

Транзисторні підсилювачі мають 2 особливості: керуються струмом, а не напругою, потребують температурної стабілізації. Переваги транзисторів в порівнянні з електровакуумними приладами: надійність, довговічність, малі габарити, економічність.

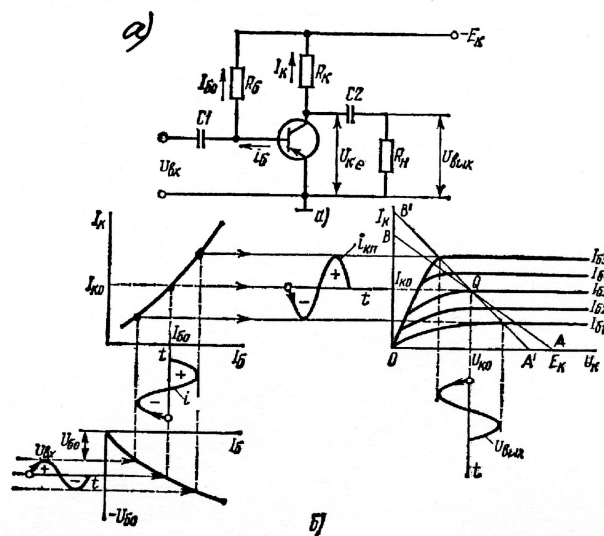


Рис.2.2 - Підсилювач на транзисторі, ввімкнений за схемою з загальним емітером: а-схема, б-характеристики та часові діаграми напруг та струмів

В такому підсилювачі за допомогою R_{δ} – опору бази, фіксується положення робочої точки струму спокою бази $I_{\delta 0}$ при напрузі спокою $U_{\delta 0}$. Вхідний сигнал на вході викликає зміну змінної складової струму бази i_{δ} , яка обумовлює зміну змінної складової струму колектора i_{κ} . У відповідності з нахилом лінії навантаження $A'B'$ на виході підсилювача отримують підсилений вихідний сигнал, змінна складова якого $U_{вих}$ знімається з колектора через роздільний конденсатор C_2 .

Струм спокою $I_{к0}$ визначається коефіцієнтом підсилення транзистора за струмом. Точку спокою Q в каскадах попереднього підсилення вибирають виходячи з вимоги отримати неспотворений сигнал при мінімальному споживанні потужності в режимі спокою.

Конденсатори C_1, C_2 в схемі призначені для виділення змінної складової. R_H – опір навантаження, з нього знімається сигнал, E_k – джерело живлення.

Одним з найважливіших параметрів підсилювача є коефіцієнт підсилення – це відношення амплітуд змінних складових сигналу на виході і на вході. Розрізняють:

коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_u = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}, \quad (2.1)$$

коефіцієнт підсилення за потужністю

$$K_p = \frac{P_{вих}}{P_{вх}},$$

коефіцієнт підсилення за струмом

$$K_i = \frac{I_{вих}}{I_{вх}}.$$

Часто вводиться коефіцієнт підсилення в логарифмічному масштабі

$$K_u = 20 \log \frac{U_{вих}}{U_{вх}}, \quad K_i = 20 \log \frac{I_{вих}}{I_{вх}}, \quad K_p = 20 \log \frac{P_{вих}}{P_{вх}}. \quad (2.2)$$

Для досягнення необхідного коефіцієнта підсилення використовують багатокаскадні підсилювачі. Коефіцієнт підсилення підсилювача, що містить N каскадів визначається добутком коефіцієнтів підсилення окремих каскадів

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots \cdot K_N.$$

Амплітудна характеристика – це залежність напруги на виході від напруги на вході від напруги на вході.

Частотна характеристика – залежність коефіцієнту підсилення від частоти.

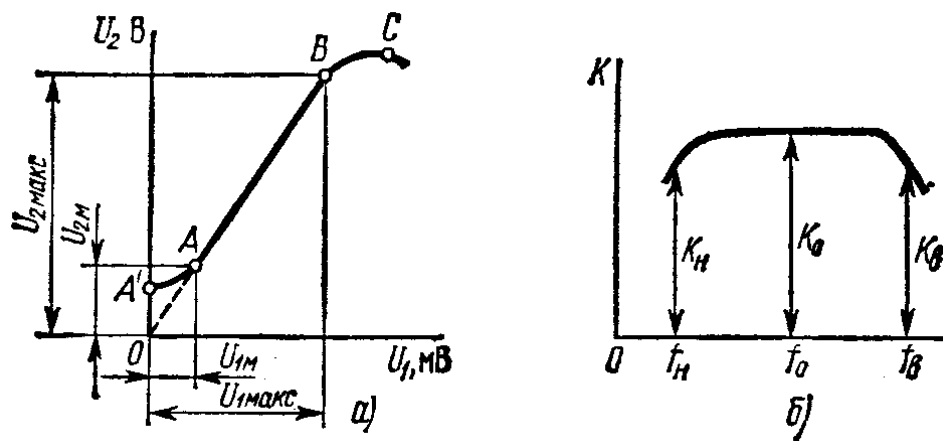


Рис.2.3 - Характеристики підсилювача: а-амплітудна, б-частотна

Діапазон частот, що підсилюється - це область частот, в межах якої коефіцієнт підсилення знаходиться в межах технічних умов відхилення коефіцієнту підсилення від максимального положення – 12%-40%. Коефіцієнт корисної дії – це відношення вихідної потужності до загальної потужності, яка споживається.

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{заг}}}$$

Номінальна напруга – це та максимальна вихідна напруга, яку забезпечує підсилювач в рамках заданого спотворення сигналу. Розрізняють фазові, частотні та амплітудні спотворення сигналу.

Фазові спотворення – це результат впливу реактивних елементів підсилювача (конденсатори, котушки індуктивності, трансформатори), реактивний опір яких залежить від частоти

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}, \quad X_L = \omega \cdot L$$

де L – індуктивність, C – ємність, ω – циклічна частота.

Частотні спотворення пов'язані з різним значенням коефіцієнта підсилення для різних частот. Амплітудні спотворення пов'язані з нелінійностями вольтамперних характеристик ламп або напівпровідникових приборів.

Для боротьби з різними спотвореннями сигналів в підсилювач вводять зворотний зв'язок. Зворотний зв'язок – це дія вихідного сигналу на вхід

пристрою. Розрізняють негативний зворотний зв'язок, який приводить до ослаблення вхідного сигналу, і позитивний зворотний зв'язок, який приводить до підсилення вхідного сигналу. Таким чином негативний зворотний зв'язок зменшує а позитивний збільшує коефіцієнт підсилення підсилювача. Кількісною характеристикою зворотного зв'язку є коефіцієнт передачі $\beta = \beta(\omega)$ характеризуючий, яка частина вихідної напруги $U_{вих}$ подається на вхід

$$\beta = \frac{U_{зз}}{U_{вих}} \quad (U_{зз} - \text{напруга зворотного зв'язку}).$$

3.Опис установки

Підсилювач, (рис.3.1)призначений для підсилення сигналів звукової частоти. Підсилювач, складається з двох каскадів підсилення (зібраних на транзисторах \dot{O}_1, \dot{O}_2) і одного емітерного повторювача (зібраного на транзисторі \dot{O}_3).

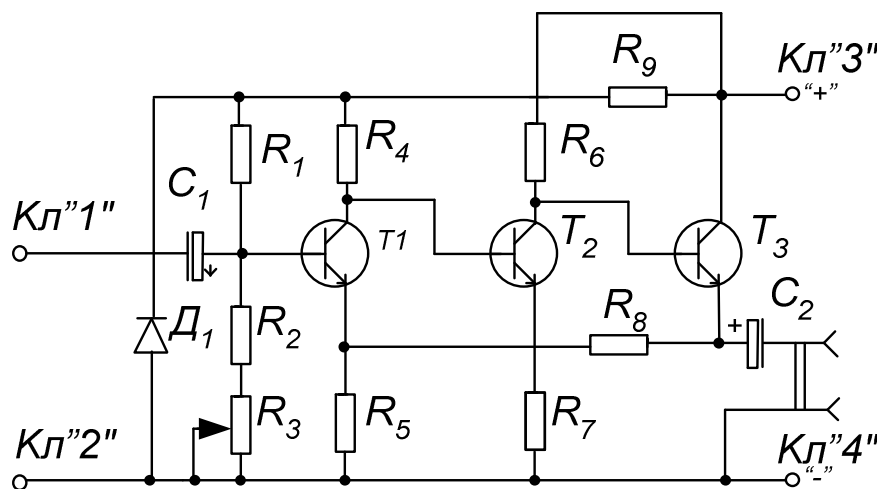


Рис.3.1

Режим роботи транзистора \dot{O}_1 за постійним струмом забезпечує подільник, який складається з резисторів R_1, R_2, R_3 . Конденсатори \tilde{N}_1, \tilde{N}_2 - роздільні, вони пропускають змінну складову і не пропускають постійної складової струму.

Підсилення сигналу за напругою здійснюється двома каскадами, зібраними на транзисторах \dot{O}_1, \dot{O}_2 , за схемою з загальним емітером.

Резистори R_4 , R_6 -колекторні навантаження каскадів Резистор R_5 , - опір зворотного зв'язку , що стабілізує підсилювач зо постійним та змінним струмом.

Емітерний повторювач, зібраний на транзисторі T_3 , це вихідний каскад підсилювача, призначений для зменшення впливу навантаження на підсилювальний каскад.

4.Послідовність виконання роботи

1. Підключити підсилювач до джерела постійної напруги, подати на вхід підсилювача синусоїдальну напругу від генератора сигналів ГС, підключити до виходу підсилювача вольтметр ВР-11А (див.схему 3.1).
2. Зняти амплітудну характеристику підсилювача, змінюючи напругу на його вході U_1 (виході генератора) та вимірюючи відповідні значення напруги на виході підсилювача U_2 . Дані вимірювань занести в таблицю 1.
3. Зняти частотну характеристику підсилювача $K_U = K_U(f)$ при сталому значенні вхідної напруги $U_1 = \text{const.}$, яке відповідає лінійній ділянці амплітудної характеристики. Дані вимірювань занести в таблицю 2.
4. За даними таблиці 1 побудувати на міліметровому папері амплітудну характеристику підсилювача $U_2 = U_2(U_1)$.
5. За даними таблиці 2 побудувати на міліметровому папері частотну характеристику підсилювача $K_U = K_U(f)$.
6. Визначити діапазон частот що підсилюються, враховуючи, що зміни коефіцієнта підсилення в межах діапазона підсилення не повинні перевищувати 30%.
7. Визначити динамічний діапазон підсилювача

$$D = U_{2\text{ макс}} / U_{2\text{ мин}} .$$

Таблиця1

U_1 (В)										
U_2 (В)										

Таблиця 2

$f(\text{Гц})$										
$U_1 \text{ (В)}$										
$U_2 \text{ (В)}$										
К										

5. Контрольні запитання

1. Сформулюйте мету роботи.
2. Для чого призначені підсилювачі?
3. Які застосовуються схеми ввімкнення транзисторів в режимі підсилення?
4. Поясніть призначення елементів схеми підсилювача на транзисторі з загальним емітером.
5. Які переваги підсилювачів на транзисторах над ламповими?
6. Назовіть основні характеристики підсилювача.
7. Які основні параметри підсилювача?
8. Чим обумовлені частотні та фазові спотворення підсилених сигналів?

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу радіоелектроніки (для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів за напрямом: 6.080101 - “Геодезія, картографія та землеустрій”).

Укладачі: Анатолій Васильович Безуглий,
Анатолій Сергійович Сисоєв,
Олександр Матвійович Петченко,
Євгеній Борисович Сидоренко

Редактор: М.З.Аляб'єв

Верстка: Н.В.Зражевська

План 2009, поз.290 М

Підп. до друку 03.07.09	Формат 60×84 1/16	Папір офісний.
Друк на ризографі.	Умовн.–друк. арк.1,8	Обл.–вид. арк.. 2,3
Зам. №	Тираж 50 прим.	

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії при ЦНІТ ХНАМГ
61002, Харків, вул. Революції, 12